

# REGIONÁLIS KLÍMAMODELL-BECSLÉSEK A KÁRPÁT-MEDENCÉRE

Pieczka Ildikó, Bartholy Judit, Pongrácz Rita, Kelemen Fanni,  
Kis Anna, André Karolina

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.  
e-mail: pieczka@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu, prita@nimbus.elte.hu

## Bevezetés

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékén 2002 óta folynak regionális klímamodellek adaptálásával, futtatásával kapcsolatos vizsgálatok. Az azóta kapott eredményeket hazai és nemzetközi fórumokon részletesen ismertették. A közelmúltban elvégeztük a RegCM-4.3 modellverzió (Giorgi et al., 2012) telepítését az ELTE szuperszámítógépén. Ezzel több szimulációt tervezünk végrehajtani, az IPCC<sup>1</sup> 5. Helyzetértékelő Jelentésében (IPCC, 2013) is alkalmazott új éghajlatváltozási forgatókönyvek (RCP<sup>2</sup>) felhasználásával, 50 és 10 km-es horizontális felbontással. Ezen terveink, illetve készülő eredményeink folyamatban lévő hazai és nemzetközi projektekben betöltött szerepét ismertetjük cikkünkben.

## A RegCM modell

A RegCM<sup>3</sup> korlátos tartományú hidrosztatikus éghajlati modellt eredetileg az amerikai NCAR<sup>4</sup>-ban fejlesztették ki, jelenleg pedig a Triesztben működő ICTP<sup>5</sup> közvetítésével hozzáférhető kutatási célokra. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén alkalmazott modellverzió adaptációs lépéseit Torma et al. (2008; 2011) részletezi.

A modell első generációjának kidolgozásához az NCAR és a PSU<sup>6</sup> 4-es verziószámú mezoskálájú modellje (MM4) szolgált alapul az 1980-as évek végén (Dickinson et al., 1989). A RegCM modell dinamikája tehát az MM4 modelltől származik, amely egy összenyomható, hidrosztatikus rácsponthoz tartozó modell. A RegCM Lambert-féle kúpvetületet használ, s a horizontális diszkretizációból eredő fázishibákat a B-típusú Arakawa-rács alkalmazásával csökkenti. Az időbeli diszkretizáció során egy ún. split-explicit séma alkalmazásával a modell külön kezeli az egyenletrendszer lineáris és nemlineáris tagjait. A RegCM függőleges irányú szigma koordináta-rendszere a légkör alsó rétegeiben felszínkövető, míg az alacsonyabb nyomású szintek már kisimult izobár felületek mentén futnak. A középső szintek folyamatosan egyenesednek ki, ahogyan közeledünk a modellben képviselt legalacsonyabb nyomási szintek felé. A szintek száma a kitűzött cél függvényében változtatható.

Az MM4 klímakutatásokhoz való átalakítása során több fizikai parametризációt módosítottak, illetve lecseréltek. Ezek döntően a sugárzási energia-átviteli és a felszíni fizikai folyamatokat érintik, s így jutottak a RegCM első generációjához (Giorgi, 1990). Ebben a modellben megtalálható a felszíni folyamatokat leíró ún. BATS1E<sup>7</sup> (Dickinson et al., 1993), a CCM3<sup>8</sup> klímamodellel sugárzási energia-átviteli sémája, egy közepes felbontású

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (Klimaváltozási Kormányközi Testület)

<sup>2</sup> Representative Concentration Pathways (Jellemző Koncentrációs Menet)

<sup>3</sup> Regional Climate Model (Regionális Éghajlati Modell)

<sup>4</sup> National Center for Atmospheric Research (Légköri Kutatások Nemzeti Központja)

<sup>5</sup> Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (Abdus Salam Elméleti Fizikai Kutatóintézet)

<sup>6</sup> Pennsylvania State University (Pennsylvania Állami Egyetem)

<sup>7</sup> Biosphere Atmosphere Transfer Scheme (Bioszféra-Atmoszféra-Transzfer-Séma)

<sup>8</sup> Climate Community Model (Közösségi Éghajlati Modell)

lokális planetáris határréteg séma, nem-lokális határréteg séma, valamint többféle konvektív séma (Anthes, 1977; Grell, 1993; Emanuel, 1991; Emanuel és Zivkovic-Rothman, 1999). A további modellfejlesztés során a meglévő egyenleteket úgy korrigálták, hogy csökkentsék a nagy topográfiai gradiensekből fakadó túlzott mértékű horizontális diffúziót (Giorgi et al., 1993a,b). Az így létrehozott RegCM2 modellverzióban a fizikai folyamatokat leíró eljárásokhoz az alapot a CCM3 klímamodell és az MM5 hidrosztatikus mezoskálájú modell (Grell et al., 1994) szolgáltatta.

Az ELTE Meteorológiai Tanszékén jelenleg a modell legújabb verziója (RegCM4.3) került adaptálásra. Ezt összehasonlítva a korábbi verziókkal, új felszíni, planetáris határréteg és légkör-tengerfelszín fluxus sémák, valamint a korábbi sugárzás-átviteli és határréteg sémák módosításai találhatók meg benne. A modell kódját is fejlesztették annak rugalmasabb, hordozhatóbb és felhasználóbarátabb alkalmazhatóságáért. Jelenleg a modell már párhuzamos futtatásra is alkalmas, melyet az egyetemi szuperszámítógépen történő futtatással mi is kihasználunk, így jelentősen gyorsítva szimulációink futási idejét.

Mivel a modell nyílt forráskódú, így akár annak módosítására is lehetőségünk van. Az adaptálás és futtatás közben felmerült kérdésekkel, problémákkal fordulhatunk a modell fejlesztőihez, valamint a RegCNET kutatói fórum tagjaihoz (Giorgi et al., 2006).

### **Kapcsolódás nemzetközi projektekhez: a CORDEX és a Med-CORDEX együttműködés**

A WCRP<sup>9</sup> keretén belül futó CORDEX<sup>10</sup> együttműködés (Giorgi et al., 2009) azzal a kettős céllal jött létre, hogy keretet biztosítson a regionális éghajlati modellek értékeléséhez, valamint klímaprojekciók megtervezésével és elkészítésével járuljon hozzá éghajlatváltozási hatástanulmányokhoz és adaptációs vizsgálatokhoz.

Ezen célok eléréséhez egységesen rögzítették a modellfuttatások néhány jellemzőjét (pl. az alkalmazandó tartományokat, a horizontális felbontást, a vizsgálandó futtatási időszakokat és scenáriókat). A CORDEX projekten belül Közép-Európára, illetve a Földközi-tenger körüli térségre a Med-CORDEX<sup>11</sup> munkacsoport összpontosít, melyben a CORDEX kerettel megegyezően az elvégzendő szimulációk a következők: az ERA-Interim adatokkal mint kezdeti- és peremfeltételekkel végzett futtatás (legalább az 1989–2008 időszakra); egy globális klímamoddellel meghajtott futtatás a múltra vonatkozóan (legalább az 1981–2005 időszakra, lehetőség szerint 1950–2005-re); új scenárió futtatások a jövőre vonatkozóan (RCP8.5 és RCP4.5 forgatókönyvekre, legalább a 2011–2040 vagy a 2041–2070 időszakra, lehetőség szerint a teljes 2006–2100 időszakra). Vizsgálandó területként az 50 km-es horizontális felbontású ún. MED-44 CORDEX tartományt jelölték ki (1. ábra felső térképe).

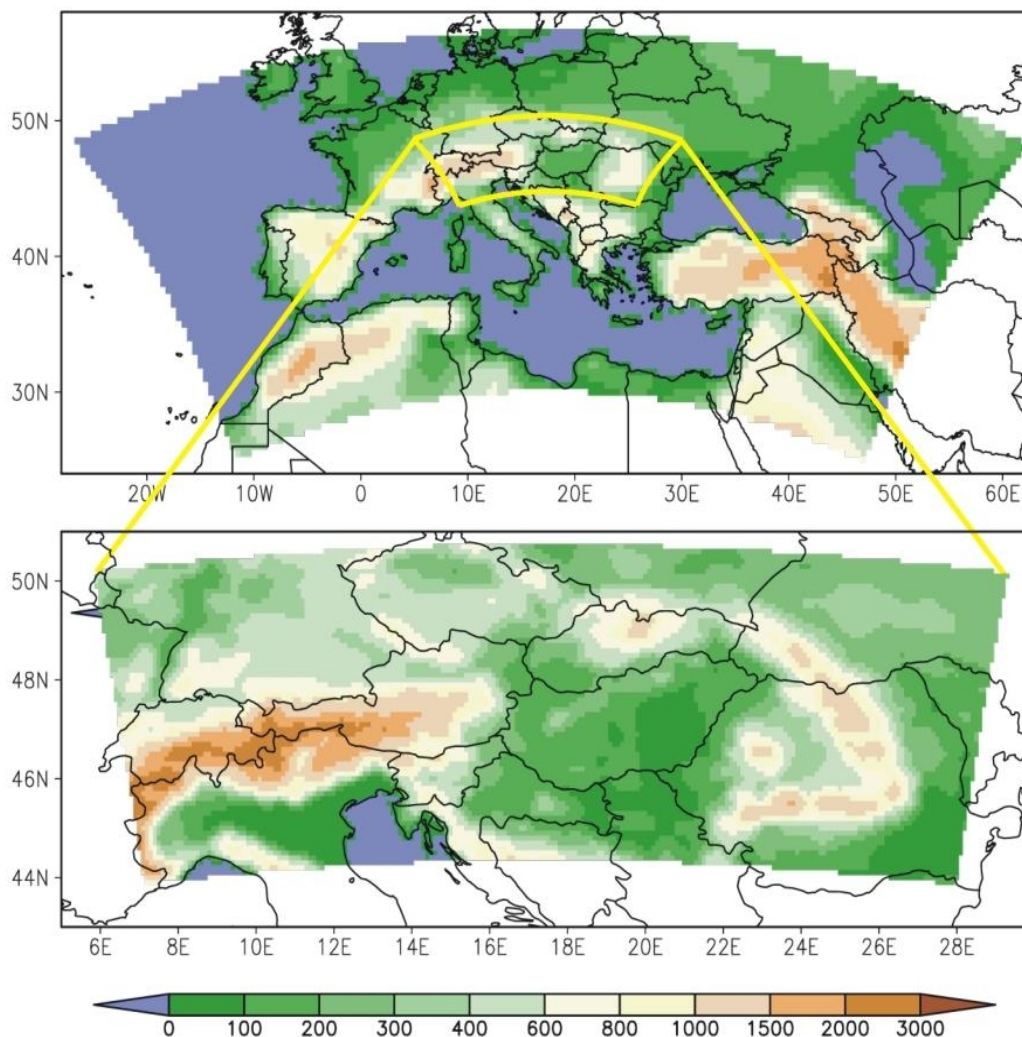
A projektben résztvevő kutatócsoportoknak köszönhetően egy nagy központi adatbázis jöhet létre, amelyben az egyes eredmények közti eltéréseket és így az adatbázis ensemble jellegét az egyes kutatócsoportok által használt eltérő globális és regionális modellek, modellverziók, fizikai parametrizációs eljárások hozzák létre. Tanszékünk az ICTP által koordinált alcsoporthoz kapcsolódik, mely a RegCM modell futtatásával járul hozzá a projekthez. Ezen csoporton belül az ICTP-től kapott alap modellverzióhoz képest az egyes kutatócsoportok egy-egy beállítás módosításával készítik el saját eredményeiket, így felderítve a RegCM különböző egyedi modellkonfigurációiból adódó bizonytalanságot.

---

<sup>9</sup> World Climate Research Programme (Éghajlatkutatási Világprogram), <http://www.wcrp-climate.org/>

<sup>10</sup> COordinated Regional climate Downscaling EXperiment (Koordinált Regionális Éghajlati Leskálázási Kísérlet), <http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>

<sup>11</sup> <http://www.medcordex.eu/>



1. ábra: A vizsgálatainkban alkalmazott 50 km-es (fent) és 10 km-es (lent) felbontású tartomány földrajzi elhelyezkedése és domborzata (m)

### Hazai klímamodellezési tevékenység

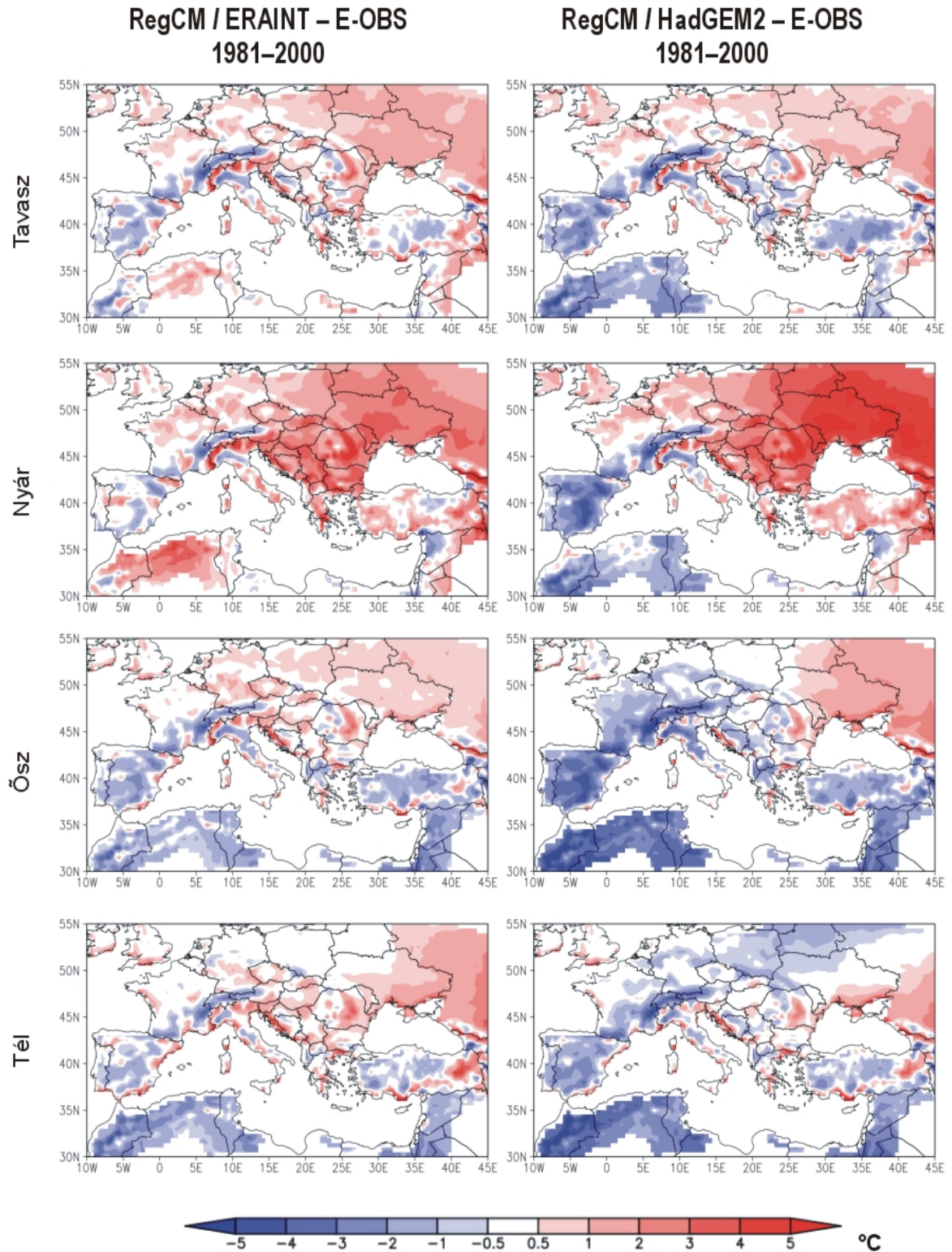
A CORDEX projektben meghatározott 50 km-es horizontális felbontás hazánk mérete miatt nem alkalmas arra, hogy éghajlatváltozási hatástanulmányokat alapozzon meg, azonban megfelelő peremfeltételeket szolgáltat a további leskálázáshoz. Az 50 km-es felbontásban előálló eredményeinket így felhasználjuk ahhoz, hogy segítségükkel finomabb, 10 km-es felbontású szimulációkat készítsünk hazánk területére (ezen kivágot domborzata az 1. ábra alsó térképén látható), melyekre a visszajelzések alapján a hazai végfelhasználók igényt tartanak a hatástanulmányok, adaptációs vizsgálatok készítéséhez. Terveink között szerepel ezen felbontáson a modell alkalmazott csapadéksémára vonatkozó érzékenységvizsgálata, illetve múlt- és jövőbeli időszakokra szimulációk készítése. A legfontosabb output mezők bekerülnek a fokozatosan kiépülő NATÉR<sup>12</sup> rendszerbe.

### Előzetes eredmények

Elkészült 50 km-es felbontású szimulációink előzetes vizsgálata alapján elmondható, hogy a RegCM modell jelenleg használt verziója a kitűzött célok elérésére alkalmasnak tűnik.

<sup>12</sup> Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer

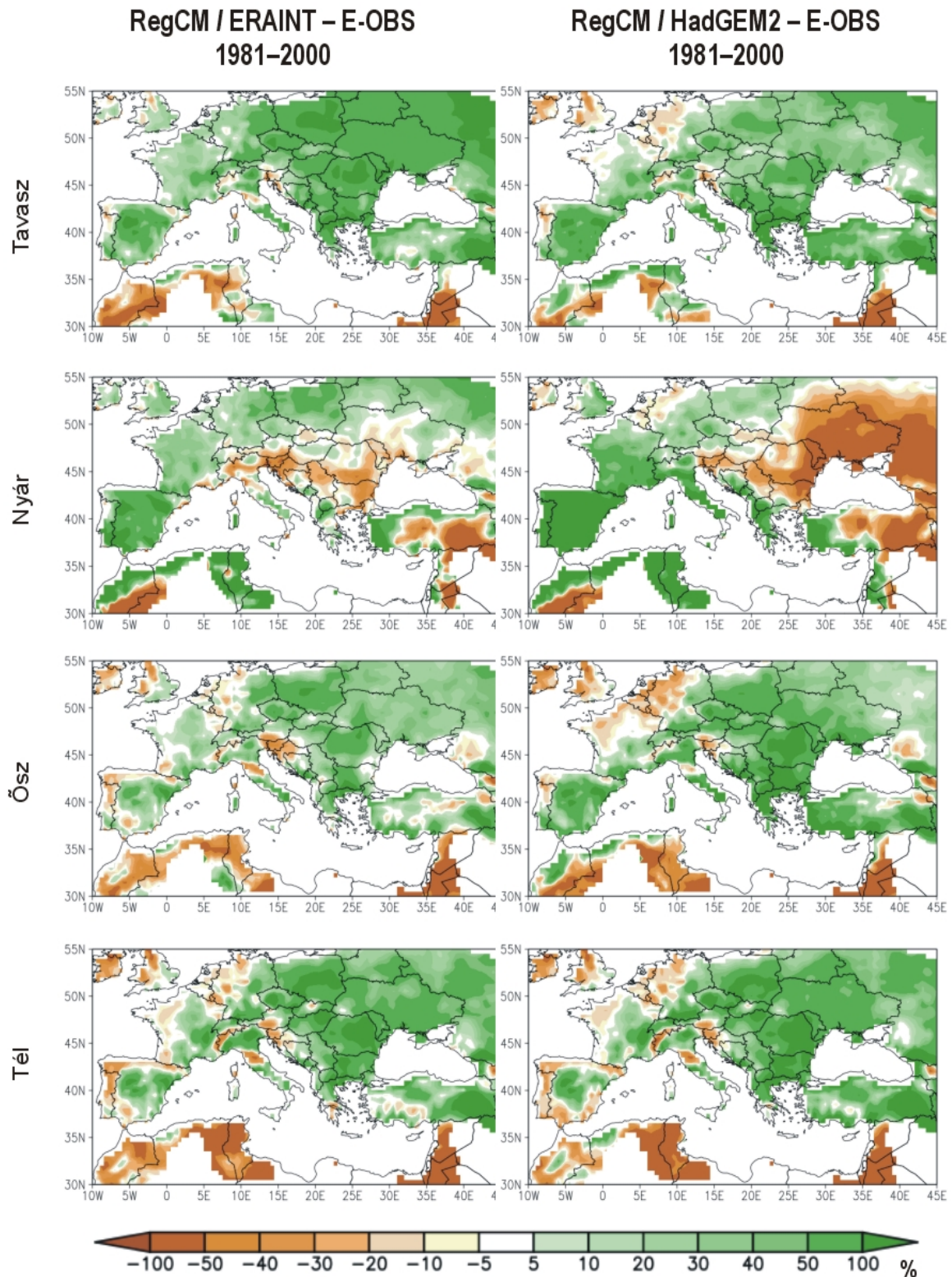
Mindkét elkészült szimuláció esetén az évszakos hőmérsékleti hibák a nyári évszak kivételével 1 °C alattiak az ország területén (2. ábra). Hőmérsékleti felülbecslést főként a tartomány északkeleti, míg alulbecslést a délnyugati területein figyelhetünk meg. Elvárásunknak megfelelően az ERA-INTERIM-mel, mint „tökéletes peremfeltétellel” készített szimuláció értékei az E-OBS adatbázis értékeihez közelebbiek.



2. ábra: Az egyes modellszimulációk átlagos évszakos hőmérsékleti eltérése (°C) az E-OBS adatbázistól, 1981–2000



A 3. ábra az évszakos csapadék-hibákat tünteti fel százalékban kifejezve. A tartomány nagy részére – így hazánkra is – jellemző a csapadék felülbecslése, mely alól kivételt csak a nyár jelent. Azon területek, amelyek több fokkal melegebbnek adódtak a megfigyeltnél, egyben szárazabbak is annál.



3. ábra: Az egyes modellszimulációk átlagos évszakos csapadék-eltérése (%) az E-OBS adatbázistól, 1981–2000

## Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta az OTKA K-78125 számú pályázata, valamint a FuturICT.hu TÁMOP 4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0013 kutatási pályázat.

## Hivatkozások

- Anthes, R.A., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. *Monthly Weather Review*, 105, 270–286.
- Dickinson, R.E., Errico, R.M., Giorgi, F., Bates, G.T., 1989: A regional climate model for the western United States. *Climatic Change*, 15, 383–422.
- Dickinson, R.E., Henderson-Sellers, A., Kennedy, P., 1993: Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1 as coupled to the NCAR community climate model. In: Tech. Note NCAR/TN-387 + STR. National Center for Atmospheric Research, 72p.
- Emanuel, K.A., 1991: A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal of Atmospheric Sciences*, 48, 21, 2313–2335.
- Emanuel, K.A., Zivkovic-Rothman, M., 1999: Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *Journal of Atmospheric Sciences*, 56, 1766–1782.
- Giorgi, F., 1990: Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *Journal of Climate*, 3, 941–963.
- Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T., 1993a: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary layer and radiative transfer processes. *Monthly Weather Review*, 121, 2794–2813.
- Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T., DeCanio, G., 1993b: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Monthly Weather Review*, 121, 2814–2832.
- Giorgi, F., Pal, J.S., Bi, X., Sloan, L., Elguindi, N., Solmon, F., 2006: Introduction to the TAC special issue: The RegCNET network. *Theoretical and Applied Climatology*, 86, 1–4.
- Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G.R., 2009: Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin*, 58, 175–183.
- Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M.B., Bi, X., Elguindi, N., Diro, G.T., Nair, V., Giuliani, G., Turuncoglu, U.U., Cozzini, S., Güttler, I., O'Brien, T.A., Tawfik, A.B., Shalaby, A., Zakey, A.S., Steiner, A.L., Stordal, F., Sloan, L.C., Brankovic, C., 2012: RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*, 52, 7–29.
- Grell, G., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parametrizations. *Monthly Weather Review*, 121, 764–787.
- Grell, G., Dudhia, J., Stauffer, D.R., 1994: A Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). In: Tech. Note NCAR/TN-398 + STR. National Center for Atmospheric Research. 121p.
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p.
- Torma, Cs., Bartholy, J., Pongrácz, R., Barcza, Z., Coppola, E., Giorgi, F., 2008: Adaptation and validation of the RegCM3 climate model for the Carpathian Basin. *Időjárás*, 112, 233–247.
- Torma, Cs., Coppola, E., Giorgi, F., Bartholy, J., Pongrácz, R., 2011: Validation of a high resolution version of the regional climate model RegCM3 over the Carpathian Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 12, 84–100.